

Таблица №2 – Состав синтезированных порошков карбидов (рабочая среда гексан)

№	Частицы	Фазовый состав	Содержание фаз, %	Размер, нм
1	W (ЭИД)	WC _{1-x}	75	40
		WC _{0,85}	25	20
2	Zr (ЭИД)	ZrC	90	70
		Zr ₃ C ₂	10	30
3	Mo (ЭИД)	MoC _{1-x}	90	78
		α-Mo ₂ C	10	154

Результаты триботехнических испытаний алюмоматричных композиционных материалов показали возможность применения разработанных материалов в производстве подшипников скольжения или же замене деталей трения в узлах механизмов. Если говорить в целом, эффект от упрочнения наноразмерными частицами значителен в узком диапазоне нагрузок и скоростей трения и при повышении нагрузки интенсивность износа стремительно возрастает, что говорит о рациональности применения комплексного упрочнения алюминиевой матрицы упрочнителями разного фракционного размера.

УДК 517.519.621.745.5

**Э.В.Захарченко, Е.А. Сиренко, А.В.Богдан, А.А.Гончаров, Л.Ф.Жуков,
*Е.В.Кравченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
(Киев), thermoexp@inbox.ru

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем МОН и НАН Украины (Киев), [*len327@ukr.net](mailto:len327@ukr.net)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИДКИХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ ПО КРИВЫМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Представлен универсальный метод, основанный на том, что любое изменение качества металлического расплава сопровождается соответствующим изменением геометрической формы термической кривой охлаждения. Измерения формы кривых на участке затвердевания дают возможность быстро и достоверно оценивать показатели качества выплавки и последующей металлургической обработки расплава до

заливки литейных форм, что исключает внезапное неустранимое появление брака отливок.

Распознавание формы кривых охлаждения (РФКО) выполняется с помощью уточненного нами критерия Z , который представляет абсолютную среднеарифметическую разность температур кривых каждой пары образцов, а именно анализируемого и последовательно каждого из всех референсных:

$$Z = \bar{Z} \pm t_{\alpha}(n) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$\text{где } \bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{1i} - T_{2i})}{n}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

(T_{1i} и T_{2i}) – разность температур каждой пары точек двух сопоставляемых (анализируемой и референсной) кривых охлаждения в пределах эвтектического участка затвердевания сплава; n – число сравниваемых точек двух кривых охлаждения; t_{α} – критерий Стьюдента для заданной вероятности (надежности) выво-

$$\text{да } \sigma = \left\{ \frac{\sum [(T_{1i} - T_{2i}) - \frac{\sum (T_{1i} - T_{2i})}{n}]^2}{n-1} \right\}^{0.5}, \text{ } \sigma - \text{ стандартное отклонение.}$$

Чем меньше величина критерия Z , тем более схожи по форме и по характеристикам качества кривые, сравниваемые на участке затвердевания. Когда в процессе перебора всего запаса референсных кривых программа автоматически обнаруживает ту единственную пару для исследуемой кривой, для которой Z не только минимален, но и не превышает допустимого предела, то показатели качества образцов в этой паре считаются одинаковыми.

Максимальная точность результатов обеспечивается тогда, когда сопоставляются кривые охлаждения образцов чугуна, близких по условиям выплавки и металлургической обработки.

В методе РФКО не используются какие-либо регрессионные соотношения между критическими температурами кривых и показателями качества расплавов. Поэтому в отличие от традиционного термического экспресс-анализа метод РФКО универсален и может использоваться для экспресс – оценки качества различных типов жидких литых сплавов на основе Fe, Al и др. Он легко адаптируется к условиям литейных предприятий посредством пополнения электронной базы данных референсными кривыми с заранее определенными в лабораторных условиях показателями качества (составом, структурой, технологическими и механическими свойствами).

Для реализации метода создана экспериментальная установка с АЦП и программным обеспечением. Темп обработки термических сигналов – 10 Гц. Основные узлы установки: теплоизолированный стальной тонкостенный погружной стаканчик-пробоотборник; огнеупорный пакет с термопарой; полый коленчатый зонд с терморазъемом; вторичный измерительный преобразователь WAD-AIK-BUS; интерфейс RS 485/USB; персональный компьютер с программой ThermoEX; электронная база данных референсных кривых, реализованная в СУБД MS Access. Максимальная точность метода РФКО обеспечивается тогда, когда образцы исследуемых промышленных и референсных сплавов близки по условиям выплавки и металлургической обработки.

В работе [1] предусмотрен расчет критерия РФКО обязательно по сумме этапов затвердевания первичного аустенита и эвтектики, игнорируя различие этих этапов по количеству выделенной латентной (скрытой) теплоты кристаллизации. Проанализируем количественно насколько велико это различие в случае доэвтектических серых нелегированных чугунов.

Для анализа использованы данные работ [2, 3]. В исследовании [2] посредством совмещения методов непрерывной калориметрии и термического анализа определены латентные теплоты первичного аустенита и графитной эвтектики: $L_{\text{А1}} = 159 \pm 13 \text{ кДж/кг}$ и $L_{\text{ЭГ}} = 264 \pm 7 \text{ кДж/кг}$ нелегированных серых чугунов с пластинчатым графитом. С учетом приведенных данных работы [2] на этапе первичной кристаллизации аустенита выделяется 51 кДж/кг латентной теплоты, а на этапе кристаллизации графитной эвтектики – 179 кДж/кг, т.е. в 3,5 раза больше. При кристаллизации первичного аустенита ежесекундно выделяется в среднем 0,136 кДж/кг латентной теплоты, а в случае графитной эвтектики – в 3,2 раза больше (0,433 кДж/кг). Такое существенное различие темпа выделения латентной теплоты фаз означает, что на этапе первичной кристаллизации величина критерия Z должна быть значительно большей по сравнению с этапом эвтектической кристаллизации. Подтверждающие экспериментальные данные представлены на рис.1. Условные значки в виде треугольников на графиках соответствуют средним значениям $Z(t)$ по 100 точкам ($\tau=10$ сек реального времени) на каждом из десяти интервалов общего условного времени затвердевания ($\tau=1000$ сек)



Рис. 1. Графики зависимости критерия распознавания $Z(\tau)$ от условного времени затвердевания, а также по сумме первичного и эвтектического этапов (Z_{Σ}) и на этапе эвтектики ($Z_{\text{Э}}$) для пары чугуновых образцов доэвтектического состава с неодинаковой микроструктурой.

На основе изложенного количественного анализа нами разработана и экспериментально подтверждена усовершенствованная методика, предусматривающая для случая широко распространенных эвтектических сплавов, например чугунов, исключение стадии первичной кристаллизации из алгоритма расчета критерия Z . Для усовершенствованного универсального метода термического экспресс-анализа жидких чугунов разработана прогрессивная конструкция погружного теплоизолированного тонкостенного стального пробоотборника взамен устаревшего традиционного наливного песчано-смоляного стаканчика.

1. Y.Li, X.Hu, X.Xu. Pattern Recognition on Thermal Analysis. – J.Mater. Sci.Technol. – 2001. Vol.17, №1. – pp.73-74.
2. Захарченко Э.В. Исследование теплот кристаллизации нелегированных чугунов. Автореф. дис. канд.техн. наук.- Киев, 1967.19с.
3. Lora R, Dioszegi A., Elmquist L. Solidification Study of Grey Iron in a Resistance Furnace// Key Engineering Materials - 2011.-vol.547.-P108-113.